

## 放射計算による市街地の温熱環境の数値解析 —表面被覆材料の変化が建物熱負荷に及ぼす影響—

小林 泰\* 鈴木 豊佳\* 大岡 龍三\*\*

### Numerical Analysis on Outdoor Thermal Environment by Radiation Calculation — Effect of the Surface Covering Material on the Heat Load of Building —

Yutaka KOBAYASHI, Toyoka SUZUKI and Ryoza OOKA

(Received Aug.31.1999)

In recent years, according to the development of environmental and energy problems in global scale, it is necessary to deal with these problems in building engineering field. Especially, it is serious problem that a demand of electric power exceeds a supply of electric power due to air conditioning in summer in Japan.

To solve this problem, it is important to not only utilize natural energy such as solar energy but also cut down for heat load of building.

In this study, surface temperature of the buildings of the city block is calculated by the radiation simulation under the various surface materials conditions. Then the effects of these conditions on the heat load of building in summer are examined.

**Key Words :** Heat Load of Building, Radiation Calculation, Surface Covering Material

#### 1. 研究目的

地球規模の環境問題、エネルギー問題の進展に伴い建築分野においてもそれらへの対応策が求められている。特に夏季の建築の冷房に伴う電力需要の増大は電力供給能力を上回る等大きな問題となっている。この問題を解決するためには、太陽エネルギー等自然エネルギーの利用や蓄熱技術による電力需要のピークカットと共に、建物そのものに流入する熱（熱負荷）を小さくすることが非常に重要である。

本研究では、典型的な低層密集型街区を対象に屋上・壁面緑化や保水性建材の利用、壁体表面の色の变化等、建物表面の物性値を変化させたときの建物表面温度の変化に伴う受熱量の変化を放射計算により検討する。また、これらの変化による建物の熱負荷軽減効果と省エネルギー効果について検討を行う。

## 2 計算概要

### 2.1 計算対象の街区形状モデル

低層密集型街区モデルとして東京都墨田区の街区を計算対象に選定した。表 1 に墨田地区の街区データ<sup>※1)</sup>を、また図 1 に各土地利用の面積割合を示す。これらのデータより作成された街区形状モデルを図 2 に示す。縦・横・高さがそれぞれ 9m の立方体建物モデルが 4 つ集まり 1 つの街区モデルが形成されている。

表 1 墨田区の街区モデルデータ<sup>※1)</sup>

データ名	数値
建物棟数密度(グロス)	41.3[棟/ha]
建物棟数密度(ネット)	68.8[棟/ha]
平均敷地面積(宅地面積/建物棟数)	145.3[m <sup>2</sup> ]
建ぺい率(グロス)	36.4[%]
建ぺい率(ネット)	60.7[%]
容積率(グロス)	108.6[%]
容積率(ネット)	181.1[%]
中高層化率(全建物に対する 4 階以上の階を有する建物の割合)	22.5[%]
平均階数	3.0[階]

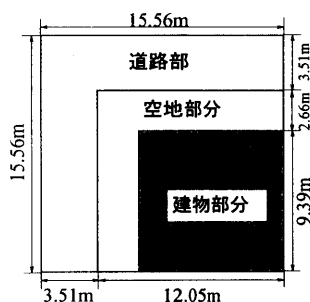


図 1 表 1 の街区形状データを利用した場合の街区構成要素の面積割合

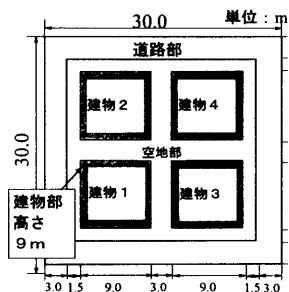


図 2 街区モデル案

### 3.2 計算ケース（表2）

計算ケースを表 2 に示す。基本ケース（case1）は建物並びに空き地部、道路部をコンクリートとしている。

### 3.3 放射計算方法

モンテカルロ法に基づく放射計算<sup>※2)</sup>より各壁面の形態係数を算出し、この形態係数よりゲッパートの吸収係数を求め、また各壁面・地表面の熱収支式を解き、壁体表面温度を求めた。

## 2.4 計算条件

本計算における各気象条件および物性値を以下に示す。

冷房による電力需要がほぼピークとなる東京の7月23日午後3時の気象条件を対象とする。

太陽高度は  $45.1^\circ$ 、法線面直達日射量は  $765\text{W/m}^2$ 、水平面天空日射量は  $136\text{W/m}^2$ 。外気温、相対湿度はそれぞれ  $31.6^\circ\text{C}$ 、58%（東京都1989～1992年7/23午後3時の平均）。

建物壁体の熱コンダクタンス  $5.8\text{W/m}^2\text{K}$ （厚さ280mmのコンクリートに相当）、室温  $26^\circ\text{C}$ 、室内側壁面の対流熱伝達率を  $4.6\text{W/m}^2\text{K}$  と仮定する。また、地中の熱伝導量は、地中の熱伝導率を  $1.16\text{W/mK}$ 、地中0.5mの温度を  $26^\circ\text{C}$  と仮定。建物外壁、地表面の対流熱伝達率は  $11.6\text{W/m}^2\text{K}$ 。

各種地表面被覆構成材料の物性値を表3に示す。

表2 計算ケース

case	屋上面	側壁面	空地部	道路部	備考
Case1	コンクリート	コンクリート	コンクリート	アスファルト	基本ケース
Case2	緑化 (保水性建材)	緑化 (保水性建材)			建物全面を緑化
Case3	コンクリート (白色)	コンクリート (白色)			全面 white painting コンクリートに変更
Case4	緑化 (保水性建材)	コンクリート			屋上面のみ緑化
Case5	コンクリート (白色)	コンクリート			屋上面のみ white painting コンクリートに変更
Case6	コンクリート	コンクリート	芝生	保水性建材	空地部を芝生面に、道路部を保水性建材に変更

表3 各種地表面被覆構成素材の物性値

	アルベド	長波吸収率	蒸発効率
コンクリート	0.2	0.9	0
表面緑化・ 保水性建材	0.2	0.9	0.3
White painting コンクリート	0.4	0.9	0
アスファルト	0.1	0.95	0

## 2.5 計算対象空間

図4・5に本計算の水平面メッシュ分割図および鉛直面メッシュ分割図を示す。

水平面メッシュ分割図において、濃グレーの部分が建物の位置を表しており、建物部分は3m角のメッシュによって各壁面および屋上面が9面に分割されている。道路部分は淡グレーで表しており、白地の部分が建物周辺の空き地部分を示している。

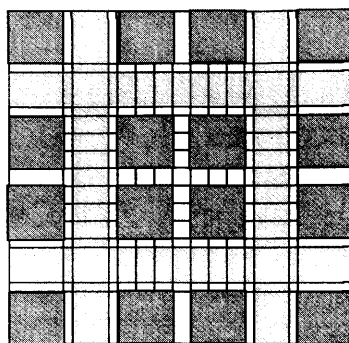


図4 水平面メッシュ分割図

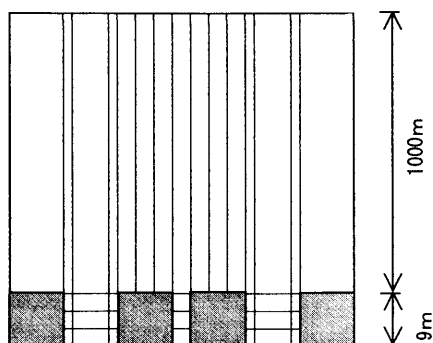


図5 鉛直面メッシュ分割図

### 3 計算結果

以下に各 case 毎の放射計算による地表面温度並びに各建物の屋上面および、各壁面温度を図 6 に示す。建物内外壁に沿って記した温度はそれぞれの外壁面温度の平均値を表している。また、各 case 毎の各壁面における熱負荷 ( $W/m^2$ ) を棒グラフにて図 7 に示す。なお、各表面における熱負荷の算出方法は以下の式により計算した。

$$\text{熱負荷} = \frac{\text{外表面温度} - \text{室内気温}}{\frac{1}{\text{熱コンダクタンス}} + \frac{1}{\text{室内側対流熱伝達率}}}$$

#### 3.1 case1 (基本ケース)

case1 は、屋上面被覆、側壁面被覆、空き地部被覆をコンクリート、道路部被覆をアスファルトとし、放射計算をおこなった。その結果を図 6(1) および図 7 (1) に示す。

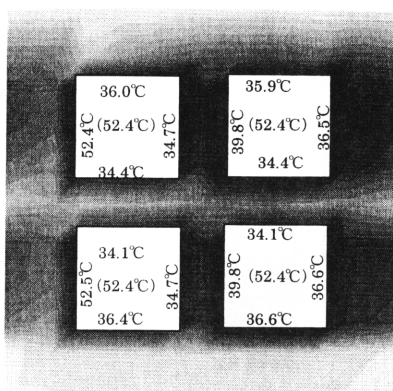
建物 1 および 2 において、屋上面と西壁面の表面温度が  $52.5^{\circ}\text{C}$  前後、および熱負荷が  $70\text{W}/\text{m}^2$  とほぼ同じ値を示した。これは、計算した時間が夕方 3 時であり、西日による影響が大きいものと考えられる。この傾向は以降に述べる全 case にわたって同じ傾向が見られる。

また、建物 3、4 の西側壁面より東側壁面のほうが  $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$  程度温度が高くなるのは、道路部からの照り返しの影響であると考えられる。この傾向は他の計算 case でも同様に見られる。

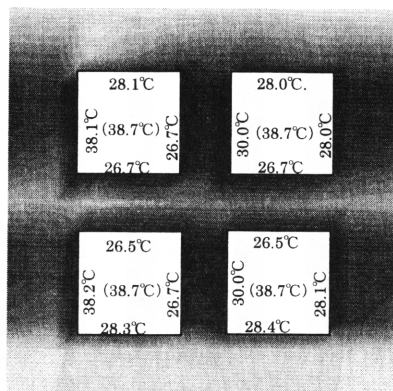
#### 3.2 case2 (建物全面を緑化)

case2 は、屋上面被覆、側壁面被覆を緑化あるいは保水性建材に変えた場合である。その結果を図 6(2) および図 7 (2) に示す。

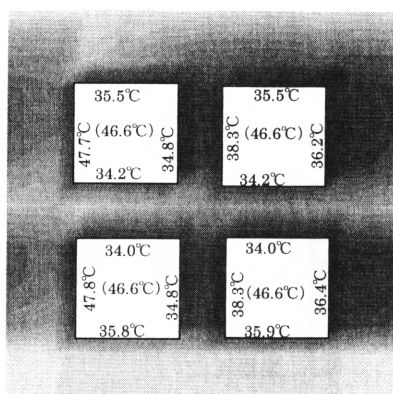
case1 と比較して、屋上面、および建物 1、2 の西壁面で約  $1.4^{\circ}\text{C}$  と大幅に低下している。他の壁面も  $8^{\circ}\text{C}$  程度表面温度が低下している。また、熱負荷では日射量の大きい建物 1、2 の西壁面では case1 の約半分の  $31\text{W}/\text{m}^2$  程度となっている。屋上面でも case1 の約半分の  $31\text{W}/\text{m}^2$  前後の値を示している。表面温度の低下により周辺環境に対する建物からの放射熱が減少し、若干ではあるが、地表面温度が低下している。これらの結果から建物全体を緑化して水分の蒸発を促すことは、建物全体の熱負荷を低減するのに非常に大きな効果があるということがわかる。



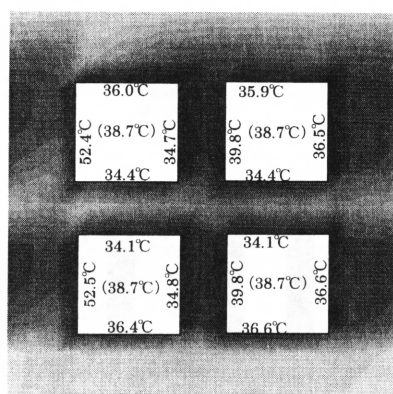
(1) case1 (基本ケース)



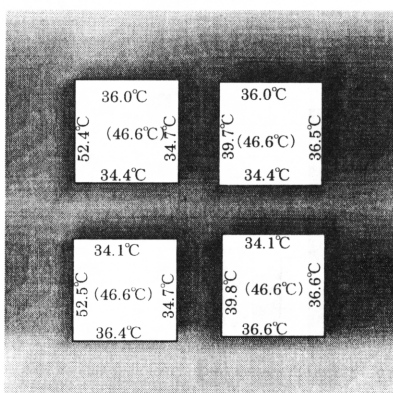
(2) case2 (全面緑化(保水性建材))



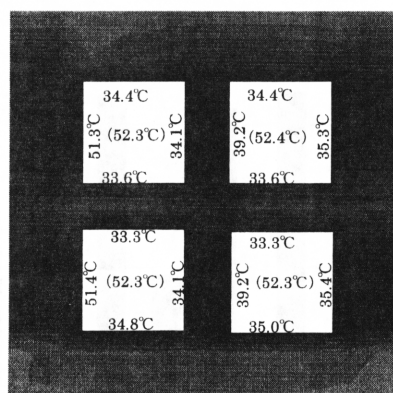
(3) case3 (全面 White Painting)



(4) case4 (屋上緑化)



(5) case5 (屋上 White Painting)



(6) case6 (地表面を変化)

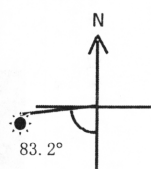
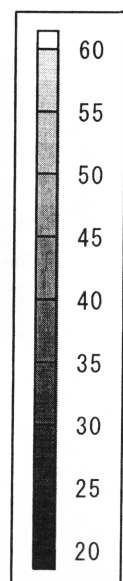
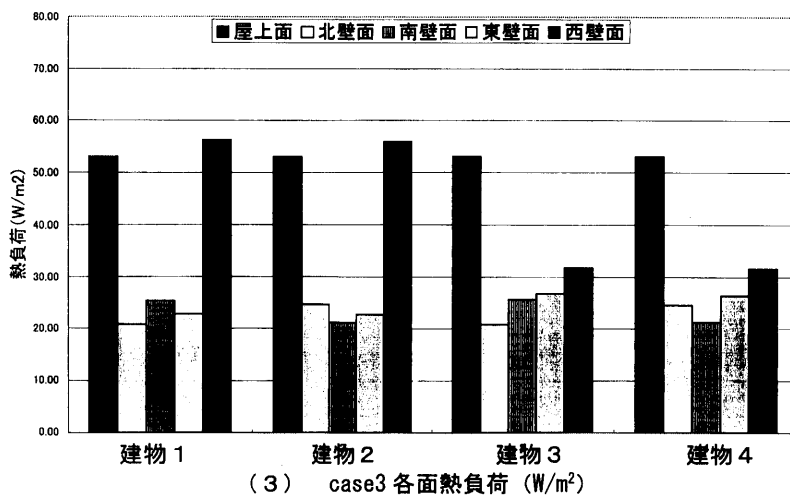
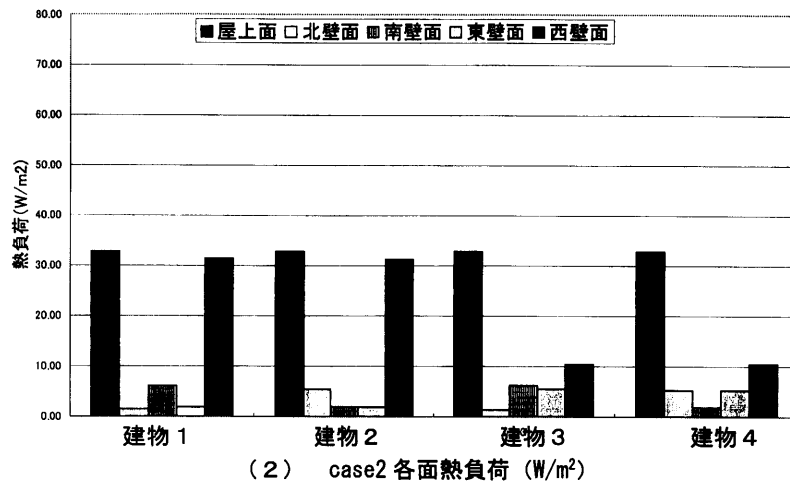
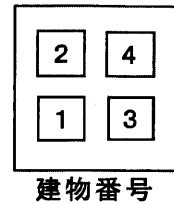
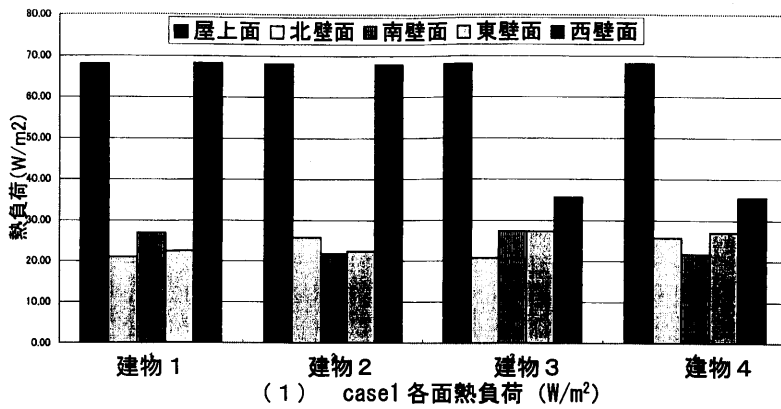


図6 地表面・壁面温度



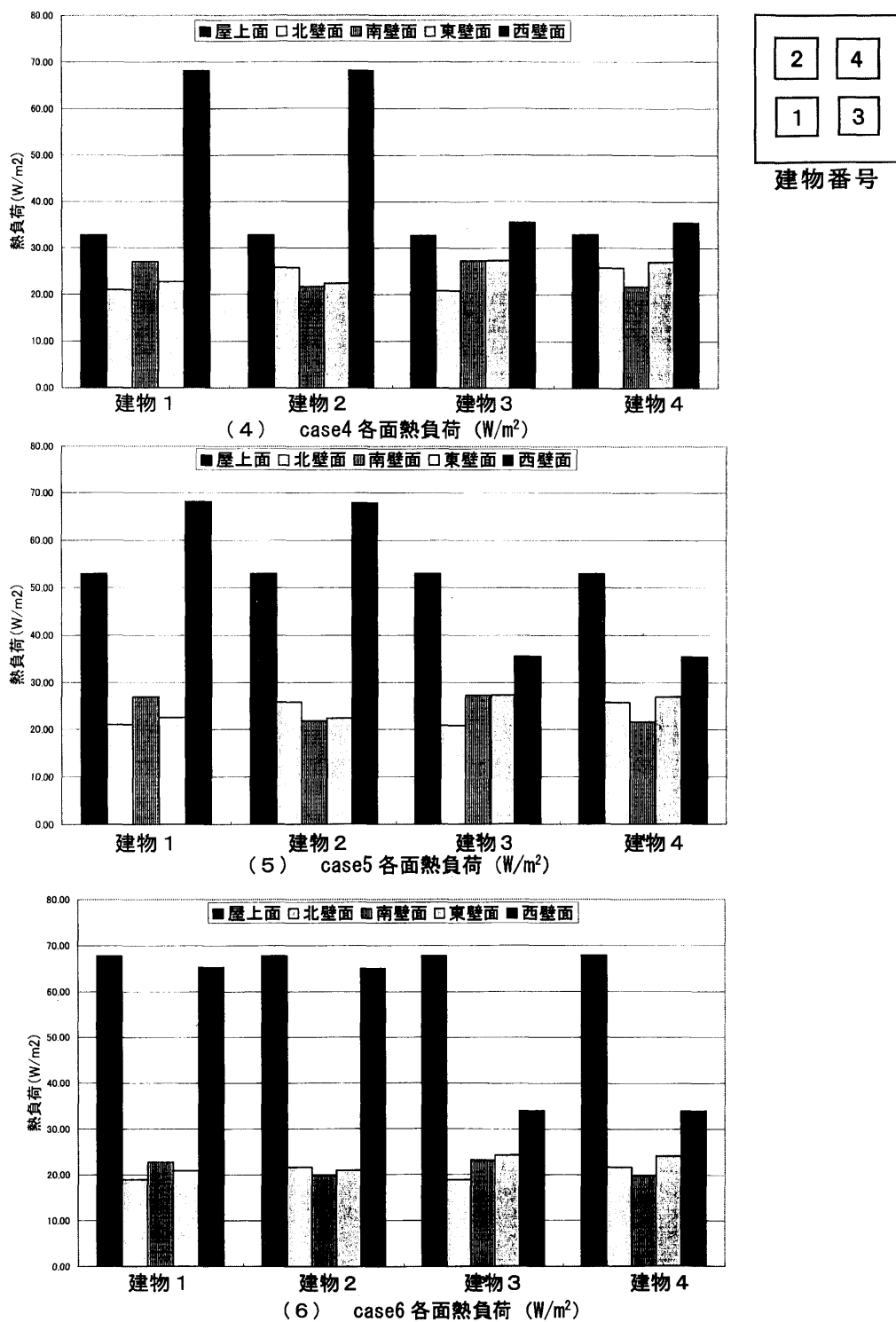


図7 各壁面および屋上面の熱負荷

### 3.3 case3(全面 white painting コンクリートに変更)

case3 は、屋上面被覆、側壁面被覆を White Painting コンクリートとして放射計算をおこなった。その結果を図 6(3) および図 7(3) に示す。

Case1 と比較して、直達日射のあたる屋上面、および建物 1, 2 の西壁面では約 6℃の低下が見られたが、case2 と比較すると、その低下の程度は小さい。

また、屋上面と建物 1, 2 の熱負荷では約 4~12W/m<sup>2</sup>の低下が見られた。周辺環境の地表面温度は全体的に約 0.3~2℃ほどの上昇が見られる。

これらの結果から、建物全体を White Painting したコンクリートで被覆することは、通常のコンクリートで被覆するよりは建物自体の熱負荷低減には若干の効果があるが、その程度は、建物全体を緑化するよりは劣るものである。さらに、White painting されたコンクリートは直達日射を反射しやすいため、周辺環境の気温ならびに地表面温度を上昇させてしまい、かえって悪影響を及ぼす危険性がある。

### 3.4 case4(屋上面のみ緑化)

case4 は屋上面被覆のみ緑化した場合である。その結果を図 6(4) および図 7(4) に示す。

建物の壁面温度は case1 と同じコンクリートであるため、変化はないが、屋上面温度は case2 の場合と同様、38℃くらいまで低下した。

また、熱負荷は case2 と同様に、約半分の 32W/m<sup>2</sup>まで低下した。

### 3.5 case5(屋上面のみ White painting コンクリートに変更)

case5 は、屋上面被覆のみを White painting コンクリートに変更した場合である。その結果を図 6(5) および図 7(5) に示す。

建物の壁面温度は case1 と同じくコンクリートであるため変化は見られないが、屋上面温度は case3 と同じ約 46℃まで低下した。

また、屋上面の熱負荷も case3 と同様に、約 46W/m<sup>2</sup>にまで低下した。Case4 と同様に壁面温度は低下していないので、周辺環境および、地表面温度の低下は見られなかった。

屋上面被覆のみを White painting コンクリートに変更した場合、屋上面緑化ほどではないにせよ屋上面の熱負荷が低下する。また全体を White paint コンクリートにした場合 (case3) ほど周辺環境に悪影響を及ぼさない。屋上面の white paint は、緑化や保水性建材等のように初期コストをほとんど必要としないため手っ取り早い熱負荷削減手法といえる。

### 3.6 case6 (空き地部を芝生面に、道路部を保水性建材に変更)

case6 は、空き地部を芝生面、道路部を保水性建材に変更して計算した。その結果を図 6(6) および図 7(6) に示す。

建物の壁面温度は case1 と比べて若干低下し、約 0.5~1.5℃ほど低下した。これは周辺の地表面温度が低下したため、そこからの長波放射量が減少したためと考えられる。

熱負荷については、道路面に面する建物側壁面では、約 1.5~4W/m<sup>2</sup>ほどの若干の低下が見られた。これも壁面温度と同様に周辺環境の地表面温度の低下によるものと考えられる。

周辺環境および地表面温度は他の case と比べると大きく低下し、道路部でも 40℃以下のところが見られ、建物周辺の地表面温度では、日向部分で 40℃以下、日陰部分では 30℃以下の部分が見られた。



これらの結果より、地表面部分の被覆状況を変えることは、夏季の屋外温熱環境の緩和に有効な方策であるといえる。

#### 4 結論

典型的な低層密集型市街地モデルに対して放射計算を行い、各種の表面被覆材料のもとでの表面温度と熱負荷の計算を行った。以下のことが明らかになった。

- (1) 午後3時においては直達日射の影響を受ける屋上面と西壁面の熱負荷が非常に大きい。
- (2) 建物表面を緑化することにより、かなりの熱負荷軽減効果が認められた。
- (3) White Painting されたコンクリートで被覆してもある程度の熱負荷軽減効果が認められた。しかしながら周辺環境に悪影響を及ぼすことも明らかになった。
- (4) 地表面被覆を変えた場合、建物自体の被覆を変えなくても若干ではあるが、建物に対する熱負荷軽減効果が得られ、かつ、周辺環境の地表面温度も大幅な低下が見られた。

#### 謝辞

本研究は新エネルギー産業技術総合開発機構（NEDO）の平成10年度新規産業創造型提案公募事業「高効率の熱交換・熱拡散促進型の省エネ都市形成手法の開発（代表 村上周三，メンバー：持田灯，近藤裕昭，島田昭男，玄地裕，伊香賀俊治，大岡龍三）」の研究活動の一環として行われたものである。また、本件研究の放射計算の実行において、東京大学大学院生吉田伸治氏並びに磐田靖子氏の助言を得た。ここに記して関係各位に深甚なる謝意を表します。

#### 参考文献

- (1) 「東京の土地利用 平成8年東京都区部（東京都、1993）」
- (2) 大岡、村上、持田、吉田、福井大学工学部研究報告第46巻第2号、1998.9

